

## Verfahren und Vorrichtung zum Fräsen von Freiformflächen

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Fräsen von Freiformflächen nach dem Oberbegriff des Patentanspruchs 1. Des weiteren betrifft die Erfindung eine Vorrichtung zum Fräsen von Freiformflächen nach dem Oberbegriff des Patentanspruchs 8.

Die hier vorliegende Erfindung betrifft das Gebiet der Frästechnik, insbesondere das HSC-Fräsen (High Speed Cutting Fräsen), welches auch als HPC-Fräsen (High Performance Cutting Fräsen) bezeichnet wird.

Beim Fräsen von Freiformflächen wird ein Werkzeug, ein sogenannter Fräser, relativ zum Werkstück bewegt. Die Bewegung des Werkzeugs relativ zum Werkstück wird durch Werkzeugbahnen bzw. Fräsbahnen beschrieben. Nach dem Stand der Technik werden derartige Werkzeugbahnen bzw. Fräsbahnen über Stützpunkte definiert bzw. programmiert. Zur Gewährleistung einer möglichst guten Qualität der zu fräsenden Freiformfläche muss der Abstand zwischen den einzelnen Stützpunkten möglichst gering sein. Bei einem geringen Abstand der Stützpunkte ist die Anzahl der Stützpunkte pro Fräsbahn groß. Je größer die Anzahl der Stützpunkte, desto größer ist auch das von einer Steuerungseinrichtung der Fräsmaschine zu verarbeitende Datenvolumen. Je größer das Datenvolumen, desto größer sind demnach die Anforderungen an die Verarbeitungsgeschwindigkeit der Steuerungseinrichtung der Fräsmaschine. Ist nämlich die Verarbeitungsgeschwindigkeit der Steuerungseinrichtung beschränkt, so kann durchaus der Fall auftreten, dass bei zu großer Anzahl der Stützpunkte und damit bei einer zu hohen zu verarbeitenden Datenmenge die Steuerungseinrichtung der Fräsmaschine die anfallende Datenmenge nicht mehr in einem solchen Zeitfenster bearbeiten kann, dass eine kontinuierliche Bewegung des Fräswerkzeugs gewährleistet ist. In diesem Fall erfolgt die Bewegung des Fräswerkzeugs relativ zum Werkstück ruckartig. Dies muss aus Qualitätsgründen vermieden werden. Je größer jedoch der Abstand der Stützpunkte gewählt wird, desto facettierter wird die zu fräsende Freiformfläche. Demnach ergeben sich auch bei Verringerung der Stützpunktzahl und damit bei Vergrößerung des Stützpunktabstands Qualitätsprobleme.

Hiervon ausgehend liegt der vorliegenden Erfindung das Problem zu Grunde, ein neuartiges Verfahren zum Fräsen von Freiformflächen sowie eine entsprechende Vorrichtung zu schaffen.

Dieses Problem wird dadurch gelöst, dass das eingangs genannte Verfahren zum Fräsen von Freiformflächen durch die Merkmale des kennzeichnenden Teils des Patentanspruchs 1 weitergebildet ist.

Erfindungsgemäß werden die Stützpunkte der oder jeder Werkzeugbahn entweder in Werkstückkoordinaten oder in Maschinenkoordinaten definiert. Nachfolgend wird für jede Werkzeugbahn als Funktion der Stützpunkte mindestens ein Spline erzeugt. Der oder jede Spline wird an eine Steuerungseinrichtung der Fräsmaschine ausgegeben, wobei die Steuerungseinrichtung die Bewegung des Werkzeugs entlang der oder jeder Werkzeugbahn auf Basis des oder jeden Splines steuert.

Durch die hier vorliegende Erfindung wird das von der Steuerungseinrichtung der Fräsmaschine zu verarbeitende Datenvolumen auch dann reduziert, wenn ein geringer Stützpunktabstand und damit eine hohe Anzahl von Stützpunkten bei der Programmierung der oder jeder Werkzeugbahn gewählt wird. Durch die Stützpunkte werden nämlich Splines gelegt. Die Anzahl der Splines entspricht der Anzahl von Koordinaten je Stützpunkt. Da Splines einen immer stetigen Verlauf aufweisen, ergibt sich auch eine Qualitätsverbesserung für die zu fräsende Freiformfläche.

Die erfindungsgemäße Vorrichtung ist durch die Merkmale des Patentanspruchs 8 gekennzeichnet.

Bevorzugte Weiterbildungen der Erfindung ergeben sich aus den abhängigen Unteransprüchen und der nachfolgenden Beschreibung.

Ausführungsbeispiele der Erfindung werden, ohne hierauf beschränkt zu sein, an Hand der Zeichnung näher erläutert. In der Zeichnung zeigt:

- Fig. 1: eine stark schematisierte Darstellung einer über Stützpunkte definierten Werkzeugbahn im Sinne des Standes der Tecxhnik;
- Fig. 2: eine stark schematisierte Darstellung einer über Stützpunkte definierten Werkzeugbahn zusammen mit einem entlang der Stützpunkte gelegten Spline im Sinne der Erfindung; und
- Fig. 3: ein stark schematisiertes Blockschaltbild einer erfindungsgemäßen Vorrichtung zum Fräsen von Freiformflächen.

Nachfolgend wird die hier vorliegende Erfindung unter Bezugnahme auf die Figuren in größerem Detail erläutert. Bevor jedoch die Details des erfindungsgemäßen Verfahrens sowie der erfindungsgemäßen Vorrichtung dargestellt werden, sollen nachfolgend einige Begriffe definiert werden, auf die später Bezug genommen wird.

Bei der Fräsbearbeitung eines zu bearbeitenden Werkstücks soll sich an der Oberfläche des Werkstücks eine gewünschte dreidimensionale Geometrie einstellen. Diese gewünschte dreidimensionale Geometrie an der Oberfläche des Werkstücks wird auch als Freiformfläche bezeichnet.

Die Fräsbearbeitung eines Werkstücks zur Ausbildung einer definierten dreidimensionalen Freiformfläche erfolgt mithilfe eines sogenannten 5-Achsfräsens. Beim 5-Achsfräsen kann ein Werkzeug, ein sogenannter Fräser, in fünf Achsen relativ zum zu bearbeitenden Werkstück bewegt werden. Drei Achsen dienen der linearen Relativbewegung des Werkzeugs relativ zum Werkstück, so dass jeder Punkt im Raum angefahren werden kann. Zusätzlich zu dieser linearen Bewegung entlang der sogenannten Linearachsen ist das Werkzeug zur Realisierung von Hinterschneidungen auch um eine Schwenkachse sowie eine Kippachse bewegbar. Entlang der Schwenkachse sowie der Kippachse werden rotatorische Bewegungen des Werkzeugs ermöglicht. Hierdurch ist es möglich, dass alle Punkte im Raum ohne Kollision angefahren werden können. Die Schwenkachse sowie die Kippachse werden häufig auch allgemein mit Rundachsen bezeichnet.

Zur Bearbeitung des Werkstücks wird das Werkzeug bzw. der Fräser relativ zum Werkstück bewegt. Die Bewegung des Werkzeugs bzw. Fräasers relativ zum Werkstück wird durch Werkzeugbahnen bzw. Fräsbahnen beschrieben. Die Werkzeugbahnen bzw. Fräsbahnen beschreiben die Position einer Werkzeugspitze bzw. eines Werkzeugbezugspunkt relativ zum Werkstück. Die Werkzeugbahnen werden in einem CAD/CAM-System in Form von Stützpunkten definiert.

Ausgehend von der Werkzeugspitze bzw. dem Werkzeugbezugspunkt erstreckt sich ein Vektor entlang einer Werkzeugachse bzw. eines Werkzeugschaftes des Werkzeugs bzw. Fräasers. Dieser Vektor entlang der Werkzeugachse ausgehend von der Werkzeugspitze in Richtung des Werkzeugschaftes bezeichnet man als Werkzeugvektor.

Fig. 1 zeigt stark schematisiert die Vorgehensweise bei der Programmierung von Werkzeugbahnen bzw. Fräsbahnen im Sinne des Standes der Technik. So zeigt Fig. 1 eine zu fräsende Kontur 10 einer Freiformfläche bzw. eines Werkstücks. Zur Erzeugung dieser Freiformfläche bzw. der Kontur 10 muss ein Fräser relativ zum Werkstück bewegt werden. Die Werkzeugbahn des Fräasers wird über Stützpunkte 11 definiert, wobei die Stützpunkte 11 innerhalb von Toleranzgrenzen 12, 13 für die Kontur 10 liegen. Nach dem Stand der Technik werden die Stützpunkte 11 in einer als CAD/CAM-System ausgebildeten Programmiereinrichtung definiert. Das CAD/CAM-System gibt nach dem Stand der Technik die Werkzeugbahn bzw. Fräsbahn 14, die durch geradlinige Verbindung zwischen benachbarten Stützpunkten 11 gebildet wird, in Form von Linearsätzen aus. Diese Linearsätze werden dann nach dem Stand der Technik von einer Steuerungseinrichtung einer Fräsmaschine weiterverarbeitet.

Fig. 2 verdeutlicht das erfindungsgemäße Verfahren zum Fräsen von Freiformflächen. So zeigt Fig. 2 wiederum eine Kontur 15 einer zu fräsenden Freiformfläche. Im Sinne der Erfindung werden nun Stützpunkte 16 für die Werkzeugbahn definiert bzw. programmiert, wobei die Stützpunkte entweder in Werkstückkoordinaten oder in Maschinenkoordinaten definiert werden. Die Stützpunkte 16 werden dabei wiederum innerhalb von Toleranzgrenzen 17, 18 für die Kontur 15 der zu fräsenden Freiformfläche definiert. Im Sinne der Erfindung wird in Abhängigkeit der Stützpunkte 16 für die Werkzeugbahn mindestens ein Spline 19 generiert. Der Spline 19 ist in Fig. 2 gestrichelt dargestellt. Aus

Fig. 2 folgt unmittelbar, dass der Spline 19 über einen insgesamt stetigen Verlauf verfügt und demnach im Unterschied zu einer geradlinigen Verbindung 20 zwischen den einzelnen Stützpunkten 16 keinerlei Unstetigkeitsstellen aufweist. Der oder jeder Spline 19 wird dann an eine Steuerungseinrichtung der Fräsmaschine ausgegeben. In Abhängigkeit des oder jeden Splines wird die Bewegung des Werkzeugs bzw. Fräsers entlang der oder jeder Werkzeugbahn gesteuert.

Es liegt im Sinne der hier vorliegenden Erfindung, die Stützpunkte 16 für die oder jede Werkzeugbahn entweder in Werkstückkoordinaten oder in Maschinenkoordinaten zu definieren. Erfolgt die Definition der Stützpunkte in Werkstückkoordinaten, so werden für jeden Stützpunkt sechs Koordinaten festgelegt. Erfolgt hingegen die Definition der Stützpunkte 16 in Maschinenkoordinaten, so werden für jeden Stützpunkt fünf Koordinaten definiert.

Für eine Werkzeugbahn, die über Stützpunkte 16 in einer CAD/CAM-Vorrichtung programmiert wurde, wird nun für alle Koordinaten der Stützpunkte jeweils ein Spline festgelegt. In dem Fall, in dem die Stützpunkte in Werkstückkoordinaten definiert werden, werden für jede Werkzeugbahn insgesamt sechs Splines erzeugt, da für eine Definition der Stützpunkte in Werkstückkoordinaten je Stützpunkt sechs Koordinaten erforderlich sind. In dem Fall, in dem die Stützpunkte in Maschinenkoordinaten definiert werden, werden für jede Werkzeugbahn insgesamt fünf Splines erzeugt.

Die Erzeugung der Splines erfolgt über ein aus der numerischen Mathematik bekanntes Interpolationsverfahren. Bzgl. der mathematischen Details wird auf die einschlägige Literatur verwiesen. Bei der Erzeugung der fünf bzw. sechs Splines je Werkzeugbahn ist von Bedeutung, dass die Interpolationsparameter für alle Splines der jeweiligen Werkzeugbahn gleich gewählt werden. Demnach werden alle fünf bzw. sechs Splines einer Werkzeugbahn entweder über Bahnlänge oder Fräszeit definiert. Sind für alle Splines die Interpolationsparameter gleich, so sind die Splines einer jeweiligen Werkzeugbahn synchronisiert.

Fig. 3 zeigt ein stark schematisiertes Blockschaltbild einer erfindungsgemäßen Vorrichtung zum Fräsen von Freiformflächen. Die erfindungsgemäße Vorrichtung umfasst im gezeigten

Ausführungsbeispiel eine Programmiereinrichtung 21 zur Programmierung mindestens einer Werkzeugbahn bzw. Fräsbahn eines Fräswerkzeugs über Stützpunkte. Die Stützpunkte werden, wie bereits oben erwähnt, entweder in Maschinenkoordinaten oder in Werkstückkoordinaten programmiert.

Bei der ersten Programmiereinrichtung 21 handelt es sich um ein CAD/CAM-System. Das CAD/CAM-System erzeugt ein sogenanntes APT (Automatic Programming Tool)-File 22, wobei ein APT-Prozessor 23 aus dem APT-File 22 ein maschinenunabhängiges Steuerungsfile 24 für die Fräsbearbeitung des Werkstücks erzeugt. Aus dem maschinenunabhängigen Steuerungsfile 24 werden mithilfe sogenannter Postprozessoren 26 sogenannte Steuerungs- bzw. NC-Files 27 erzeugt, die maschinenabhängig sind. Diese Steuerungs- bzw. NC-Files 27 werden Steuerungseinrichtungen 28 bereitgestellt, welche die einzelnen Bewegungsachsen der Fräsmaschine bzw. NC-Maschine steuern.

Der Programmiereinrichtung 21 sind Mittel 25 zugeordnet, um für jede Werkzeugbahn in Abhängigkeit von den Stützpunkten mindestens einen Spline zu erzeugen. Die Erzeugung der Splines für die Werkzeugbahnen erfolgt auf die oben beschriebene Art und Weise. Die von den Mitteln 25 als Funktion der Stützpunkte erzeugten Splines werden im Ausführungsbeispiel der Fig. 3 an den APT-Prozessor 23 übergeben, der die entsprechenden Splinedaten im maschinenunabhängigen Steuerungsfile 24 den Postprozessoren 26 übergibt.

Die Postprozessoren 26 stellen den Steuerungseinrichtungen 28 die Splines in den maschinenabhängigen Steuerungsfiles 27 im Polynomformat zur Verfügung. Die Steuerungseinrichtungen 28 steuern die Bewegung des Werkzeugs entlang der Werkzeugbahnen auf Basis der entsprechenden Splines. Durch die Bereitstellung der Splines im Polynomformat ist gewährleistet, dass die Steuerungseinrichtungen 28 der Fräsmaschine bzw. NC-Maschine die Splines problemlos weiterverarbeiten und zur Steuerung des Fräswerkzeugs verwenden können.

Mithilfe des erfindungsgemäßen Verfahrens sowie der erfindungsgemäßen Vorrichtung lässt sich das Fräsen von Freiformflächen erheblich verbessern. Das von der Fräsmaschine

zu verarbeitende Datenvolumen wird erheblich reduziert. Die Splines gewährleisten krümmungsstetige Werkzeugbahnen, wodurch sich die Oberflächenqualität der herzustellenden Freiformflächen erheblich verbessern lässt. Die Fräsmaschine wird weniger stark zu Schwingungen angeregt und demnach unterliegen auch die Fräswerkzeuge einem geringen Verschleiß.

Die erfindungsgemäße Vorrichtung sowie das erfindungsgemäße Verfahren eignen sich besonders für die Fräsbearbeitung von rotationssymmetrischen Gasturbinenbauteilen mit integraler Beschaufelung, d.h. von sogenannten Blisks (Bladed Disks) oder Blings (Bladed Rings).

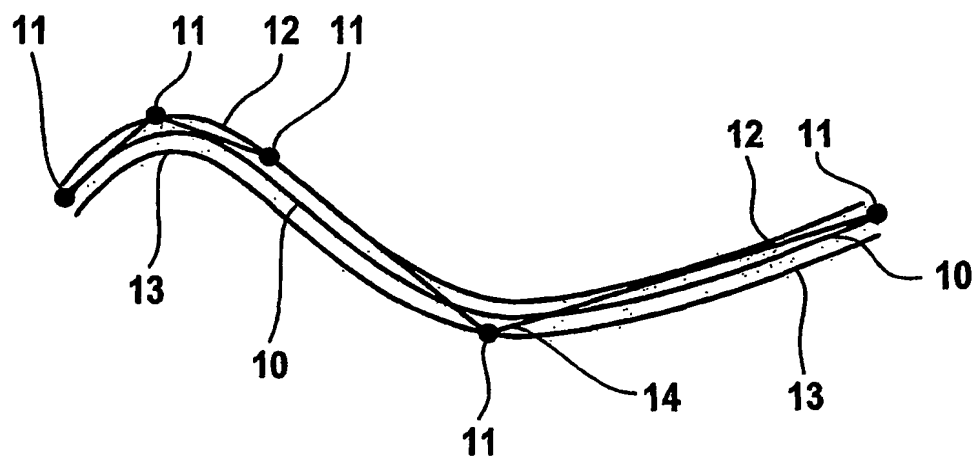
## Patentansprüche

1. Verfahren zum Fräsen von Freiformflächen an Werkstücken auf einer Fräsvorrichtung bzw. einer Fräsmaschine, insbesondere zum 5-Achsfräsen, wobei ein Werkstück von einem Werkzeug der Fräsmaschine derart gefräst wird, dass sich eine gewünschte Freiformfläche ergibt, und wobei das Werkzeug zum Fräsen entlang mindestens einer über Stützpunkte definierten Werkzeugbahn relativ zum Werkstück bewegt wird, **dadurch gekennzeichnet, dass**
  - a) die Stützpunkte der oder jeder Werkzeugbahn entweder in Werkstückkoordinaten oder in Maschinenkoordinaten definiert werden,
  - b) für jede Werkzeugbahn in Abhängigkeit von den Stützpunkten mindestens ein Spline erzeugt wird,
  - c) der oder jede Spline an eine Steuerungseinrichtung der Fräsmaschine ausgegeben wird, wobei die Steuerungseinrichtung die Bewegung des Werkzeugs entlang der oder jeder Werkzeugbahn auf Basis des oder jeden entsprechenden Splines steuert.
2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** dann, wenn die Stützpunkte in Werkstückkoordinaten definiert werden, für jeden Stützpunkt sechs Koordinaten festgelegt werden.
3. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** dann, wenn die Stützpunkte in Maschinenkoordinaten definiert werden, für jeden Stützpunkt fünf Koordinaten festgelegt werden.
4. Verfahren nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet, dass** für jede Werkzeugbahn entlang aller bzw. durch alle Koordinaten der Stützpunkte jeweils ein Spline gelegt wird.
5. Verfahren nach Anspruch 4, **dadurch gekennzeichnet, dass** dann, wenn die Stützpunkte in Werkstückkoordinaten definiert werden, für jede Werkzeugbahn sechs Splines erzeugt werden.

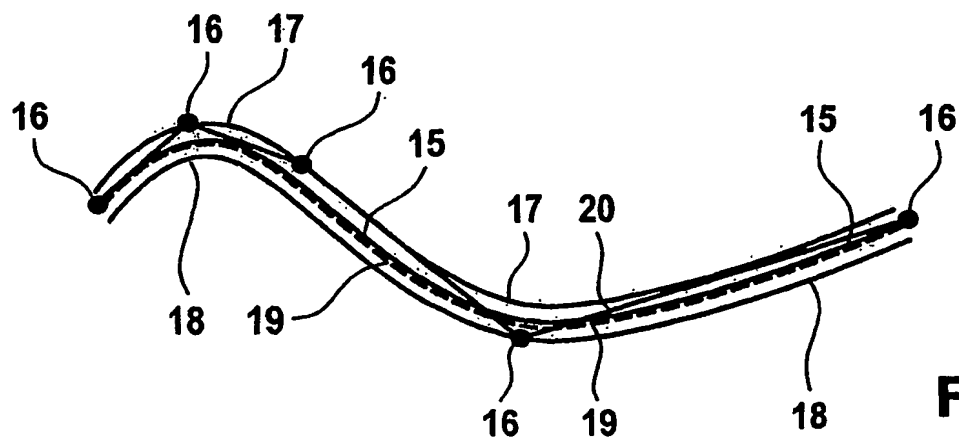


6. Verfahren nach Anspruche 4, **dadurch gekennzeichnet, dass** dann, wenn die Stützpunkte in Maschinenkoordinaten definiert werden, für jede Werkzeugbahn fünf Splines erzeugt werden.
7. Verfahren nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 6, **dadurch gekennzeichnet, dass** für jede Werkzeugbahn die Interpolationsparameter für alle Splines der jeweiligen Werkzeugbahn gleich sind, so dass alle Splines einer jeweiligen Werkzeugbahn synchronisiert sind.
8. Vorrichtung zum Fräsen von Freiformflächen an Werkstücken, insbesondere 5-Achsfräsvorrichtung, wobei ein Werkzeug ein Werkstück derart fräst, dass sich eine gewünschte Freiformfläche ergibt, mit einer Programmiereinrichtung (21) zur Programmierung mindestens einer Werkzeugbahn bzw. Fräserbahn durch Stützpunkte, und mit mindestens einer Steuerungseinrichtung (28) zur Steuerung der Bewegung des Werkzeugs entlang der oder jeder Werkzeugbahn relativ zum Werkstück, **dadurch gekennzeichnet, dass** in der Programmiereinrichtung (21) die Stützpunkte der oder jeder Werkzeugbahn in Werkstückkoordinaten oder in Maschinenkoordinaten programmierbar sind, dass der Programmiereinrichtung (21) Mittel (25) zugeordnet sind, um für jede Werkzeugbahn in Abhängigkeit von den Stützpunkten mindestens einen Spline zu erzeugen, und dass die Mittel (25) den oder jeden Spline der oder jeder Steuerungseinrichtung (28) bereitstellen, wobei die oder jede Steuerungseinrichtung (28) die Bewegung des Werkzeugs entlang der oder jeder Werkzeugbahn auf Basis des oder jeden entsprechenden Splines steuert.
9. Vorrichtung nach Anspruch 8, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Programmiereinrichtung (21) zur Programmierung der oder jeder Werkzeugbahn als CAD/CAM-System ausgebildet ist, wobei das CAD/CAM-System mindestens ein APT-File (22) erzeugt, welches von mindestens einem nachgeschalteten Postprozessor (26) in mindestens ein von der oder jeder Steuerungseinrichtung (28) ausführbares Steuerungsfile (27) überführbar ist.

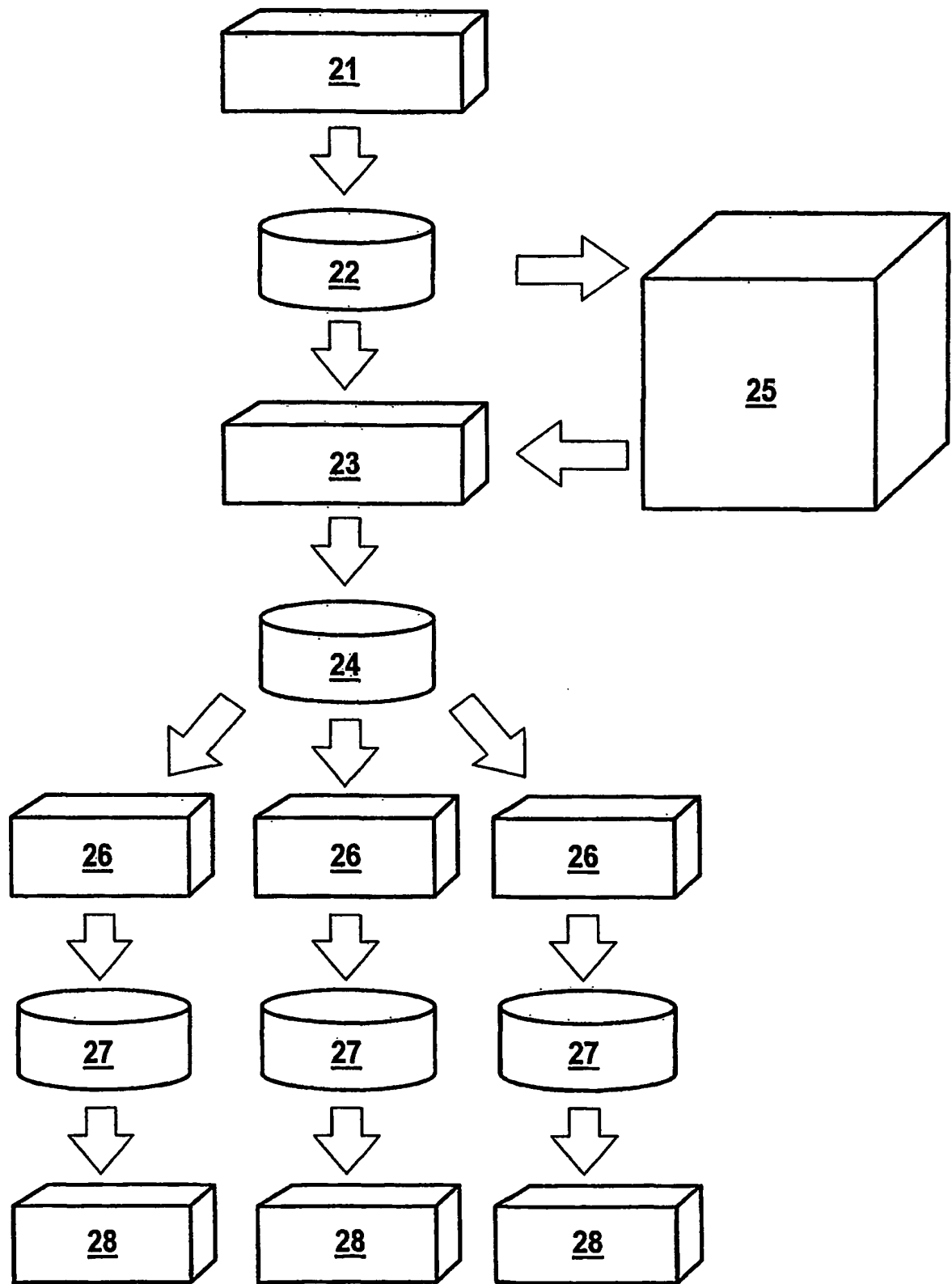
10. Vorrichtung nach Anspruch 8 oder 9, **dadurch gekennzeichnet, dass** die der Programmier Einrichtung (21) zugeordneten Mittel (25) die Splines an einen APT-Prozessor (23) übergeben, der diese Splines an den oder jeden Postprozessor (26) übergibt, wobei der oder jede Postprozessor (26) die Splines der oder jeder Steuerungseinrichtung (28) im Polynomformat bereitstellt.



**Fig. 1**



**Fig. 2**

**Fig. 3**